

無所不在的阻燃劑－多溴二苯醚

阻燃劑自 1970 年起大量使用，使用於室內裝潢建材等，避免火災發生時迅速蔓延，包含電腦及電視等電器用品也都有添加阻燃劑，然而這些用物質並非全然無害，毒性有多強？是否有生物累積現象？如何避免污染？由本文為您解答。

■ 李慈毅

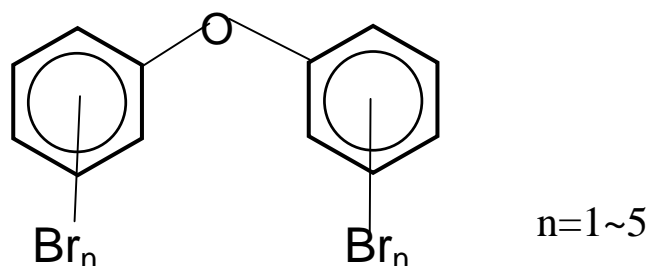
提到多溴二苯醚或許鮮為人知，但是實際上在我們生活的四週，卻很常被使用到，因為多溴二苯醚是很好用的阻燃劑，自從 1970 年後逐年增加使用於防火建材、電腦主機板及耐火裝潢等，特別像美國等以木造房屋為主的先進國家，都會要求在建築材料內添加一定比率的多溴二苯醚，以期有效防止火災的延燒，保障人民安全等。因此這些添加多溴二苯醚的阻燃劑統稱為 **Brominated Flame Retardant(BFR)**。美國的消防法規內，就直接要求要添加多溴二苯醚到建築材料內，甚至在美國所販賣的泡棉，也都會要求在製造過程中要添加多溴二苯醚，一直到 2000 年以後專家學者發現環境中的多溴二苯醚濃度很高，才開始有一堆學者開始研究其危害性與毒性，並積極遊說各國政府進行管制，因此在 2006 年歐盟發布歐盟電子電機設備危害物質禁用指令（**RoHS**），要求輸入歐盟的電子電機產品，不得含有超過 1000 ppm（ppm：百萬分之一）的多溴二苯醚，世界各國政府也開始進行限用或禁用多溴二苯醚。在台灣的消防法規中，並無規定要添加多溴二苯醚，但是有鼓勵或規定防焰物品之使用，相對最簡單的防焰方式當然也就或多或少跟多溴二苯醚有關。

爲了方便解釋，可以分別從幾點來討論多溴二苯醚，首先需要了解的當然就是何謂多溴二苯醚？主要污染地點為何？毒性強弱與否？是否會有生物累積現象？如何避免遭受污染？是否有其他替代品等？下面就簡單來探討相關問題。

何謂多溴二苯醚

所謂的多溴二苯醚並不是一種單一物質，主要的結構為 2 個苯環，中間連結一個氧，如下圖所示，其中苯環連接的 10 個氫被 1~10 個溴取代，以不同的組合

方式排列共有 209 種組合，這 209 種組合的總名稱就是多溴二苯醚，在計算多溴二苯醚含量時原則上就是將 209 種的濃度都加總在一起計算。所含溴數比較少的部分在一般環境溫度下會比較容易以氣體方式存在，高溴數的部分則容易附著在顆粒表面。



多溴二苯醚（PBDEs）結構示意圖

多溴二苯醚污染最高的地點

跟一般環境污染物不同，多溴二苯醚的污染程度是室內遠高於室外，而且辦公室等公眾區域因為使用到比較多的防焰建材也因此多溴二苯醚的濃度也比一般住家高出許多，像是內部裝潢的耐火隔間建材、OA 辦公家具等，添加在防火建材或電腦主機板等的多溴二苯醚，會緩慢的釋放到室內空氣中，而室內灰塵則為高濃度多溴二苯醚的集合處。根據環境檢驗所近幾年調查顯示一般住家中灰塵的多溴二苯醚含量大約在 0.3~3 ppm，而辦公室中灰塵的多溴二苯醚含量約在 3~12ppm 左右，室外灰塵因為與土壤等混合稀釋，多溴二苯醚含量一般都小於 0.5 ppm。

多溴二苯醚的毒性多強呢

至於多溴二苯醚的毒性，簡單的說其毒性不算高。目前在國際癌症研究署將多溴二苯醚歸類為 Group 3；美國環境保護署歸類為 Group C；也就是說基於人類證據無資料及動物證據有限，而在台灣環保署也已公告多溴二苯醚為第四類毒性化學物質，目前台灣有進口使用的多溴二苯醚只有十溴二苯醚。最近幾年因為多溴二苯醚太過熱門，相對研究其毒性的專家學者也非常多，當然也就發現多溴二苯醚最主要的毒性反應來自於具有荷爾蒙特性，此種物質會干擾內分泌系

統，作為雄性激素、黃體激素和雌激素的結抗劑或促效劑等，在長時間吸入高濃度暴露的情形下，確實會對人體有影響，所以進一步促使世界各國開始針對其用量進行管制。

多溴二苯醚是否有生物累積現象

至於多溴二苯醚是否會像戴奧辛或多氯聯苯一樣在生物體內累積而造成高倍數的濃縮進而造成高濃度的傷害等，依照目前的研究或調查報告，似乎沒有那麼明顯的生物濃縮效應，特別是在十溴二苯醚（台灣唯一有進口使用）。根據環境檢驗所多年調查台灣的河川底泥與生物體中的多溴二苯醚含量與分布，發現河川中的底泥含量大約在 0.001~0.5 ppm，主要為十溴二苯醚，約佔所有多溴二苯醚的 9 成以上，而生物體中的含量大約在 0.00005~0.05 ppm，十溴二苯醚的比率才佔 3 成不到，顯示十溴二苯醚在生物體內並不容易累積。

如何避免遭受多溴二苯醚污染

至於如何才能避免多溴二苯醚的污染？老實說要完全避免多溴二苯醚污染是很難的一件事情，因為在我們平常生活的週遭，不論電線、各種電器用品、電腦、傢俱、裝潢等或多或少都有多溴二苯醚的存在。先前有提過在各種環境基質的樣品中，其實室內灰塵中的多溴二苯醚含量是最高的，這也是多溴二苯醚讓許多學者專家關心的主要原因，因為嬰幼兒是最容易接觸並吃進室內灰塵的人，而嬰幼兒又屬於正在發育且對污染物忍受力較低的族群，也因此多溴二苯醚雖然相對毒性不高但是仍然備受關切。如果想降低嬰幼兒多溴二苯醚的暴露風險，最簡單的方式當然就是勤打掃，減少室內灰塵的存在，吃飯前當然也要先將手洗乾淨。另外如果想降低室內灰塵中多溴二苯醚的濃度，就只有房子裝潢時要盡量避免過度施工，沒有裝潢的房子多溴二苯醚的濃度也相對比較低，平常保持良好的通風也是一種方式。對於成年人而言，多溴二苯醚的污染危害不顯著，從飲食等能暴露的量並不算高，只要養成飯前洗手的習慣應該就可有效降低風險。

是否有更好的替代品可以取代多溴二苯醚

至於多溴二苯醚的替代品，原則上只是從一種污染物換成另外一種污染物而

已，替代的化學物質毒性部分未必比多溴二苯醚來的低，如果都不添加多溴二苯醚，相對也就必須冒著火災的危險，這樣對於人民的生命財產會更加沒有保障，當然也不排除在未來有更好的替代品出現。

結語

最近的研究也指出垃圾焚化廠的底渣跟飛灰都存在高濃度的多溴二苯醚，當然主要還是以十溴二苯醚為主，特別是底渣含有高濃度的十溴二苯醚，其表示在垃圾焚化的高溫燃燒中，十溴二苯醚並無法有效完全破壞分解，可見十溴二苯醚是非常穩定的化學物質。當然最近也有很多學者專家在研究如何降解處理環境中的多溴二苯醚，特別是十溴二苯醚，目前可見的方法有光降解處理（結合奈米二氧化鈦等）、化學氧化處理（結合奈米零價鐵等）或生物處理等，主要是將溴原子移除回到原來的氫原子狀態，不過都還在研究中，降解效果目前也不是非常顯著，事實上在降解十溴二苯醚的過程中，主要是進行脫溴的機制，因此其降解後產物將會轉化成八溴二苯醚或五溴二苯醚之類，其反而對人體更有毒害風險，因為溴數越少的溴化物其毒性反而提高。總之目前在多溴二苯醚的議題上，存在著兩難的問題，不過也不用太擔心，因為目前如同歐盟要求的限用情形越來越普遍，也就是在保有防火耐熱的功能下，添加最低限量的多溴二苯醚，根據環境檢驗所的監測最近幾年台灣環境中的多溴二苯醚已有略為下降的趨勢，在台灣普遍暴露的程度不會太高，有嬰幼兒的家庭只要注意保持居家清潔及加強室內通風，大致上就不會有太大的問題發生。